

# Технологии инженерного образования

УДК 681.324:371.694

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРОИЗВОДСТВА ПО РАЗДЕЛЕНИЮ ИЗОТОПОВ УРАНА ЦЕНТРОБЕЖНЫМ МЕТОДОМ

В.А. Власов\*, А.Н. Шубин\*\*, С.В. Филимонов\*\*, А.А. Орлов\*,  
Г.А. Колпаков\*\*, Д.Н. Голдобин\*\*, С.Н. Тимченко\*, С.Н. Бабушкин\*\*

\*Томский политехнический университет, г. Томск. E-mail: vlasov@tpu.ru

\*\*ФГУП ПО "Электрохимический завод", г. Зеленогорск. E-mail: pto25@yandex.ru

Разработан компьютерный тренажер для повышения уровня подготовки оперативного персонала предприятий по разделению изотопов урана центробежным методом в условиях штатной работы оборудования и в аварийных ситуациях

### Введение

Для обеспечения надежной эксплуатации центробежного разделительного производства большое значение имеет подготовленность оперативного персонала. Целью обучения операторов является научить их безопасно и эффективно управлять определённой системой в рабочих режимах, а также в аварийных ситуациях. Целью переподготовки операторов является поддержание у них высокого уровня квалификации.

В настоящее время практические навыки оперативный персонал приобретает в процессе эксплуатации каскада. При этом не исключены ошибки, приводящие к нарушению технологического процесса и к выходу дорогостоящего оборудования из строя. Для подготовки оператора к самостоятельной работе требуется значительное время, так как на действующем оборудовании аварийные ситуации случаются редко, а создавать их искусственно нецелесообразно и опасно. Поэтому продолжительность профессиональной деятельности руководящего оперативного состава, имеющего достаточный опыт управления технологическим процессом, существенно уменьшается.

В связи с быстрым ростом мощности разделительных производств, усложнением схем и режимов их эксплуатации, увеличением опасности аварий, применением автоматизированных систем управления традиционные методы подготовки операторов становятся неэффективными, и приобретает актуальность создание тренажеров имитирующих рабочие места операторов.

Тренажеры нашли широкое применение в подготовке высококвалифицированных специалистов в авиации, космонавтике, на транспорте, на АЭС. В частности, на

АЭС проблема подготовки персонала решена путем создания сначала компьютерного, а затем на его основе полномасштабного тренажера [1]. Применение тренажеров является сложившейся общемировой практикой профессиональной подготовки персонала, поскольку использование в учебном процессе реального оборудования требует очень больших затрат либо в принципе невозможно.

Задачами реализуемого проекта являлись:

1. разработка компьютерной системы тренажера разделительного производства;
2. разработка программного обеспечения тренажера на базе статической модели разделительного процесса;
3. создание базы данных, необходимых для функционирования тренажера;
4. отображение на экране монитора технологических схем разделительного производства, панелей управления оборудованием, параметров процесса, регистрируемых датчиками и приборами технологического контроля и аварийной защиты; обеспечение световой и звуковой сигнализации состояний оборудования и датчиков;
5. разработка алгоритмов реализации сценариев штатных, аварийных ситуаций на разделительном производстве и алгоритмов действий оперативного персонала в этих ситуациях;
6. разработка алгоритма оценки правильности операций по управлению технологическим процессом в различных ситуациях, проводимых на тренажере персоналом;

7. комплексная проверка работы всех составных блоков тренажера, составление методики работы с компьютерным тренажером;
8. внедрение компьютерного тренажера на ФГУП ПО “Электрохимический завод”, г. Зеленогорск.

#### 1. Разработка объектной базы компьютерного тренажера

При анализе предметной области проекта были выделены основные логические задачи по управлению данными, отображению результатов и технологических схем тренажера:

1. Хранение, манипуляция и представление на экране технологической (давление, температура, величина потоков, изотопная концентрация) и системной (изображение объекта, координаты на экране и т. д.) информации.
2. Эффективное и гибкое управление объектами технологических схем (клапанами, компрессорами и т. д.), создание объектов, хранение и инициализация.
3. Обеспечение легко изменяемого и интуитивно понятного механизма поведения объектов, не требующего для корректировки алгоритмов специальных средств разработки.
4. Сопряжения системы логических объектов тренажера с математической моделью технологического процесса.

Реализация такого большого числа разнородных по структуре объектов и необходимость стандартизованного однотипного и гибкого управления, как единичными объектами, так и группами объектов, сформированными по какому либо признаку (принадлежность к определенному блоку, потоку или виду) однозначно определили использование технологии объектно-ориентированного программирования при создании тренажера [2].

Все языки объектно-ориентированного программирования основаны на трех основных концепциях, называемых инкапсуляцией, полиморфизмом и наследованием.

В результате реализации выделенных логических

задач в среде Borland Delphi [3] была построена иерархия классов, реализующих необходимую функциональность тренажера.

Для реализации базовых функций по отладке приложения (лог-файл протокола работы программы) был разработан класс TBaseObject, в последствии от него были образованы все остальные классы. Далее для реализации основных выделенных логических задач архитектура дерева классов (рис. 1) “ветвится” на направления:

- TController – создание, хранение и инициализация объектов технологических схем;
- TLogObject – предок всех технологических объектов (клапаны, регуляторы, компрессоры и т. д.), реализующий базовый интерфейс взаимодействия с TController.
- TExecutor – класс, осуществляющий реализацию механизма поведения объектов и сопряжение объектов с математической моделью.

В классе TExecutor был реализован специализированный интерпретатор OML-макроязыка (Object Manipulation Language) для управления поведением объектов технологической схемы. Далее была реализована масса объектов, инкапсулирующих в себе непосредственно элементы технологической схемы. В результате использования концепции полиморфизма объектно-ориентированных языков, удалось наделить классы элементов технологической схемы необходимыми свойствами и параметрами (изображение, реакция на мышшь, список технологических параметров и т. д.) при сохранении общности управления.

#### 2. Разработка сетевой версии тренажера

В ходе выполнения работы были решены следующие задачи:

1. Выделен спектр параметров моделируемого технологического процесса, предназначенных для отображения на втором компьютере.
2. На основании анализа данного спектра была разрабо-

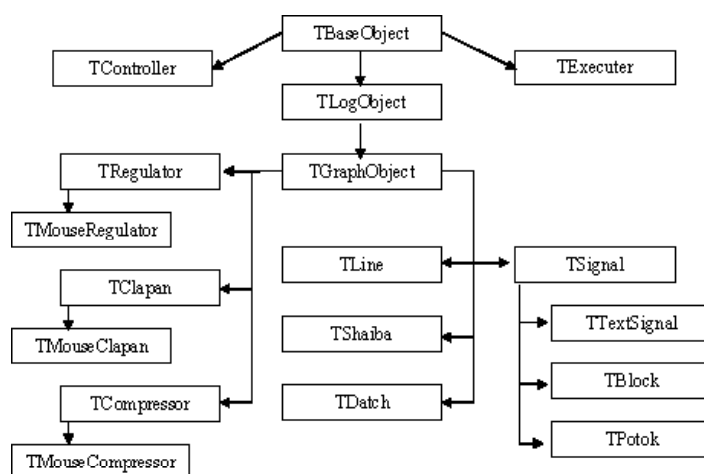


Рис. 1. Объектная модель компьютерного тренажера

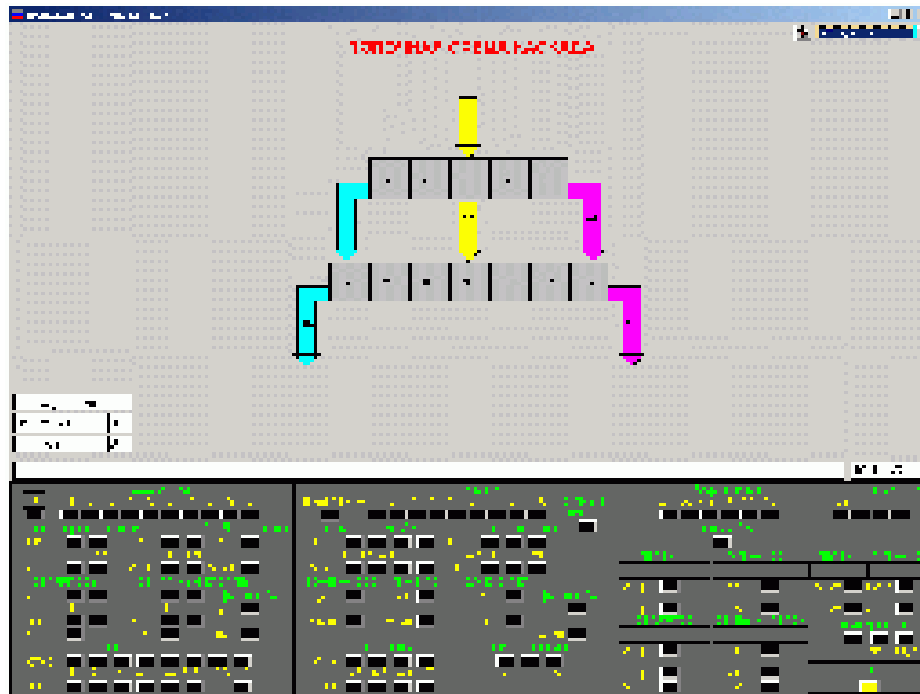


Рис. 2. Двухполюсная схема каскада с панелью управления

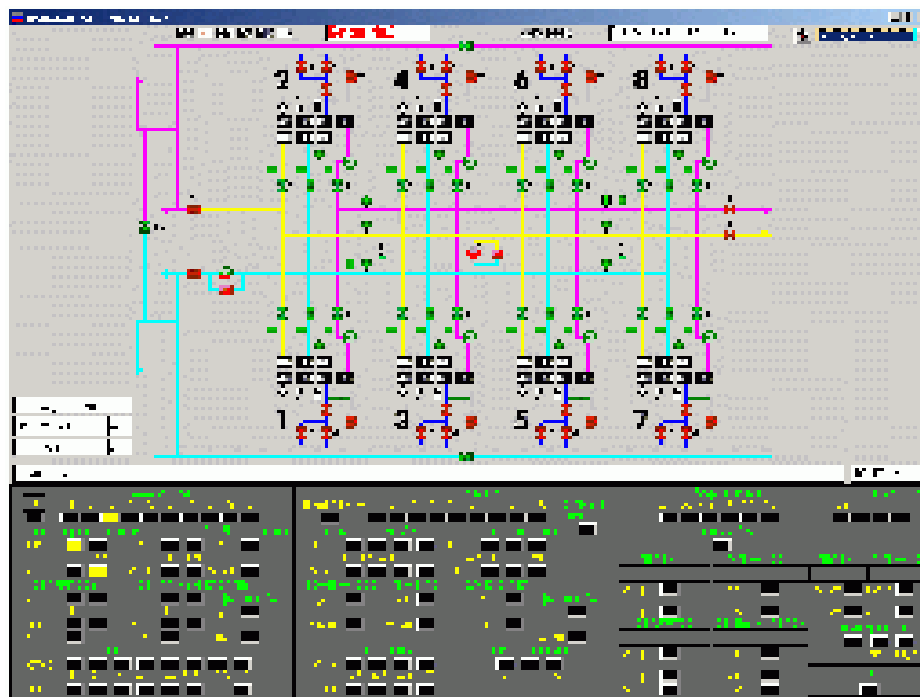


Рис. 3. Мнемосхема технологического блока с панелью управления

- тана структурная модель взаимодействия двух компьютеров по стандартной локально-вычислительной сети Ethernet.
3. В соответствии с разработанной структурной моделью сетевого взаимодействия, реализован механизм, обеспечивающий передачу параметров и синхронизацию данных приложений.
4. Сформирован предлагаемый вид окна вывода пара-

- метров на втором мониторе.
  5. Реализована часть сетевого интерфейса, поддерживающая отображение технологических параметров блоков.
- Для выполнения работы было необходимо осуществить взаимодействие между отдельными программами. Для организации взаимодействия между задачами существует очень много инструментов,

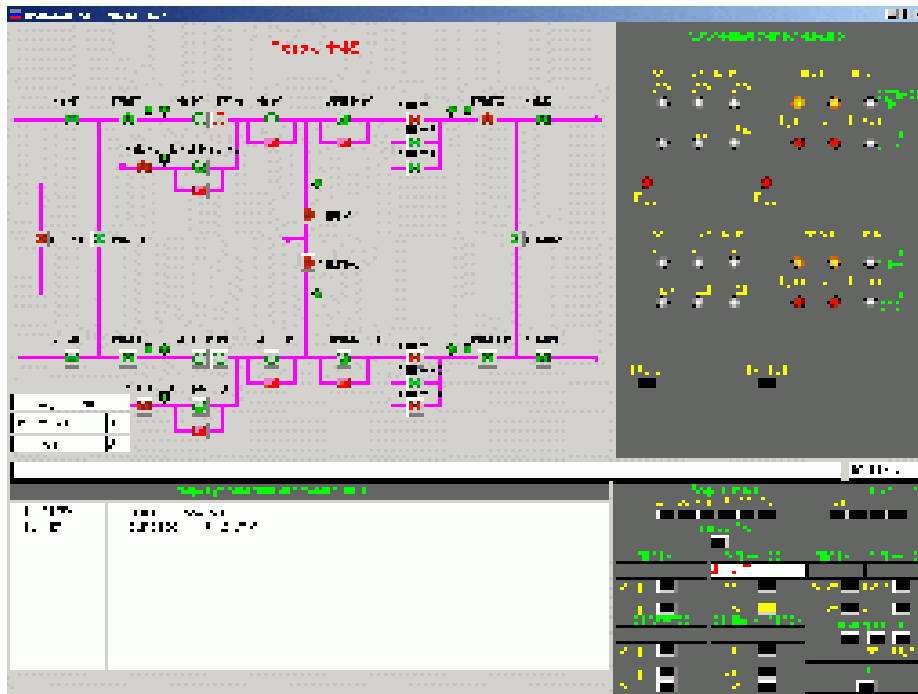


Рис. 4. Мнемосхема потока с панелями управления и аварийной сигнализации

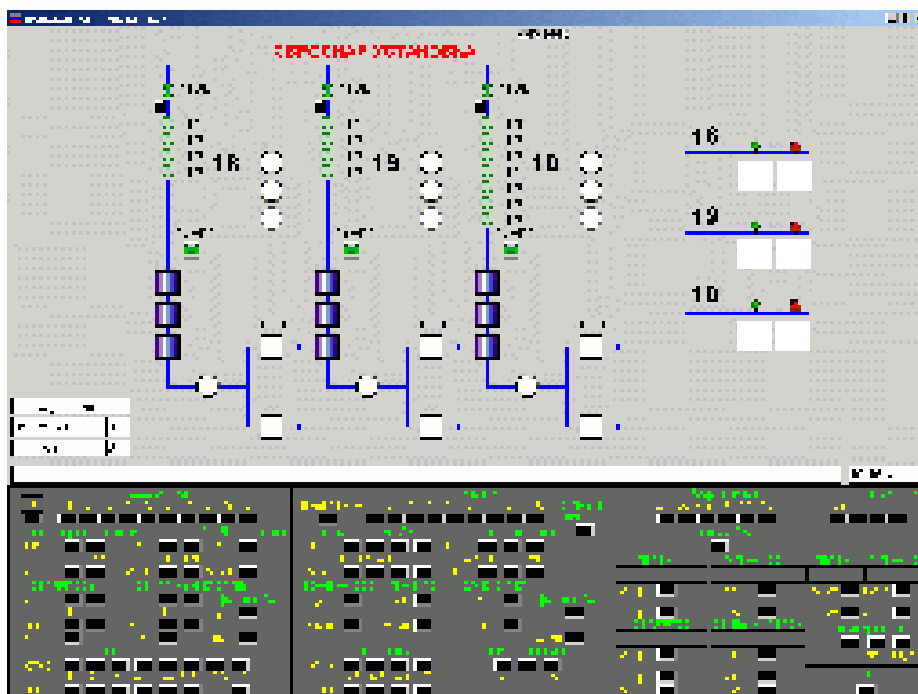


Рис. 5. Мнемосхема сбросной установки с панелью управления

характеризующихся разными “дальнобойностью” и “калибром”. Некоторые из них позволяют работать только в рамках одной машины, некоторые в локальной или глобальной сети. Некоторые особо крупные решения – COM, DCOM, CORBA настолько сложны и громоздки в реализации, что подходят лишь для построения мощных корпоративных распределенных приложений документооборота и электронной коммерции, информационных порталов и кроссплатформенных решений для серверов класса предприятия.

Как реально претендующие на использование в нашей задаче нами рассматривались следующие механизмы:

- Обмен сообщениями Windows.
- Динамический обмен данными (Dynamic Data Exchange).
- Совместное использование общей памяти.
- Именованные каналы (named pipes).

– Сокеты.

В результате была выбрана клиент-серверная архитектура на базе сокетов. Общепринятой и стандартизированной на международном уровне является семиуровневая модель структуры протоколов связи под названием “интерфейс открытых систем” (Open System Interface, OSI). На каждом из уровней – от первого, физического, до высших уровней представления и приложений – решается свой объем задач и используется свой инструментарий.

Сокеты находятся как раз на промежуточном, так называемом транспортном уровне семиуровневой структуры. Ниже на сетевом уровне, находится протокол IP (основа TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Выше находятся протоколы сеансового уровня (сервисы), ориентированные на конкретные задачи – например, FTP (для передачи файлов), SMTP (почтовый), всем известный гипертекстовый протокол HTTP и другие. Использование сокетов, с одной стороны, позволяет абстрагироваться от частностей работы на нижних уровнях, с другой – решать широкий круг задач, недоступный специализированным протоколам. С точки зрения содержания, сокет – это прикладной программный интерфейс, входящий в состав разных операционных систем, в том числе Windows. Последняя его реализация носит название WinSock 2.0. Для успешной реализации взаимодействия нами был разработан специализированный, адаптированный для тренажера протокол сеансового уровня (сервис передачи технологических параметров).

Таким образом, при возникновении возмущений (изменений технологических параметров) на стороне приложения с управляющей панелью, сервис передачи технологических параметров осуществляет транспортировку параметров на второй компьютер.

### 3. Отображение схем и технологических параметров на экранах мониторов

В результате была разработана сетевая версия тренажера, который состоит из двух ПЭВМ Pentium IV. На монитор первого компьютера выводится изображение мнемосхем двухполочного каскада с потоками межкаскадных коммуникаций (МКК) рис. 2, технологических блоков центрифуг рис. 3, потоков рис. 4, вспомогательных систем рис. 5, органы управления, световая и звуковая сигнализация срабатывания датчиков аварийной защиты. Этот компьютер осуществляет расчет основных параметров в соответствии с математической моделью технологического процесса. Второй компьютер отображает на экране монитора контролируемые параметры датчиков технологического контроля и аварийной защиты, которые получает по сети с первого компьютера, протокол регистрации срабатывания аварийной защиты, архив сессий (результатов тестирования операторов), графическую информацию.

В тренажер заложены алгоритмы работы оборудования, датчиков технологического контроля и аварийной защиты. Реализована возможность отображения на втором мониторе центрифуг, работающих в ступени. Размер затененной синим цветом площади ступени,

пропорционален количеству работающих в ней центрифуг. Заложена возможность изменения точек подачи и взятия потоков МКК. Создан алгоритм работы элементов схемы при дистанционном управлении секциями, блоками; алгоритм работы элементов схемы при закрытии секций, блоков, линий МКК от срабатывания датчиков аварийной защиты; осуществлена имитация гидравлических возмущений при исключении из работы части оборудования. Разработан и реализован механизм, позволяющий запускать цепочку сценариев.

Реализована поддержка архива сессий пользователей на серверной части с возможностью просмотра действий пользователей по отработке сценариев. Просмотр сессий и управление архивом функционируют только при блокировке сервера. Реализованы функции управления архивом сессий (загрузка из архива любой сессии для просмотра, очистка архива). Реализованы элементы отображения и контроля состояния сервера данных тренажера с возможностью блокировки сервера.

Усовершенствован механизм обмена данных с целью повышения отказоустойчивости сервера. Модифицирована структура базы данных (обеспечена возможность хранения атрибутов сессий пользователей).

Реализовано 11 сценариев штатных и аварийных ситуаций. В тренажер заложены алгоритм действий персонала в этих ситуациях, а также отработка всех блокировок и аварийных защит. Реализована работа на компьютерном тренажере в режиме тренировки. Обеспечено отображение изменения состояния оборудования в строке сообщений, а также в дифференцированной форме в протоколе событий. Кроме того, в тренажере реализовано динамическое изменение и вывод на экран второго монитора гидравлических параметров объекта в ходе выполнения работ по сценариям. Разработан алгоритм оценки правильности действий по управлению технологическим процессом в различных ситуациях, проводимых на тренажере персоналом, основанный на соблюдении требований соответствующих инструкций. Сведения обо всех управляющих воздействиях каждого из операторов и вызванных ими изменения состояния оборудования в хронологическом порядке заносятся в архив, который можно открыть, заблокировав серверную часть тренажера.

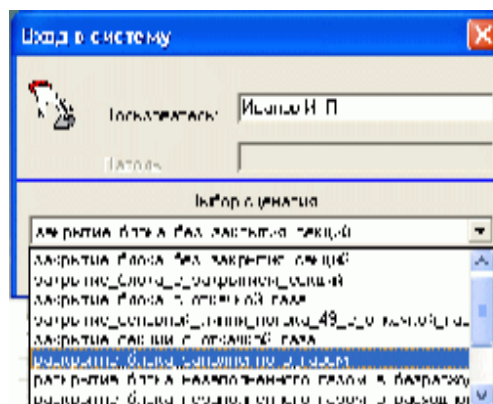


Рис. 6. Окно регистрации входа в систему

#### 4. Работа со сценарием

При запуске клиентской части тренажёра первым выводится окно регистрации пользователя и выбора сценария работы изображенное на рис. 6.

Для начала работы тренажёра вводится имя пользователя и выбирается сценарий, в соответствии с которым будет выполняться работа. После нажатия на кнопку “ОК” выполняются действия по конфигурированию системы. О начале работы сценария сообщается в информационном окне появляющемся после конфигурирования системы. Все сценарии составлены таким образом, что в начале их выполнения производится автоматическая отработка действий по подготовке модели технологического оборудования к выполнению действий оператором. В зависимости от сценария это могут быть имитации срабатывания аварийной защиты или штатное изменение состояния оборудования. Дальнейшее сценарное действие рассчитано на выполнение оператором определённого количества шагов в строго установленном порядке. Информация о количестве предусмотренных шагов и о выполнении шага (логически связанной последовательности управляющих воздействий по управлению технологическим оборудованием) заносится в окно, расположенное в левой части окна первого монитора тренажёра (рис. 3, 4).

Нарушение последовательности действий по сценарию при выполнении операций предусмотренных инструкцией и приведших к закрытию блоков или секций, а также выполнение других действий, выполнение которых может привести к развитию нештатных ситуаций, приводит к завершению работы сценария с указанием причины завершения во всплывающем окне сообщений. Если все действия выполнены верно, то сценарий завершается выводом сообщения во всплывающем окне “Сценарий выполнен успешно”.

Независимо от правильности отработки сценария после нажатия кнопки ОК во всплывающем окне, произойдет перезагрузка тренажёра и на экране монитора снова появится окно регистрации входа в систему (рис. 6). После чего заново вводятся личные данные тестируемого и выбирается сценарий.

#### Заключение

Разработана сетевая версия компьютерного тренажёра и проведено комплексное тестирование всех его составных блоков. Реализовано 11 сценариев штатных и аварийных ситуаций. В тренажер заложены алгоритмы действий персонала в этих ситуациях, а также отработка всех блокировок и аварийных защит. Реализована работа на компьютерном тренажере в режиме тренировки.

Обеспечено отображение изменения состояния оборудования в строке сообщений, а также в дифференцированной форме в протоколе событий. Реализовано динамическое изменение и вывод на экран второго монитора гидравлических параметров объекта в ходе выполнения работ по сценариям. Разработан алгоритм оценки правильности действий, проводимых на тренажере персоналом, по управлению технологическим процессом в различных ситуациях, основанный на соблюдении требований соответствующих инструкций.

Внедрение на ФГУП ПО “Электрохимический завод” компьютерного тренажёра позволит избежать выхода из строя дорогостоящего оборудования и предупредить тем самым экологические последствия от неправильных действий оперативного персонала. Благодаря компьютерному тренажеру сократится время подготовки операторов. Оперативный персонал сможет поддерживать высокий уровень профессиональной подготовки, что приведет к повышению надежности функционирования этого предприятия.

Планируется использовать компьютерный тренажер в учебном процессе на кафедре технической физики физико-технического факультета Томского политехнического университета при подготовке специалистов для разделительных производств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плютинский В.И. Грушинский Б.Я. Использование малых тренажеров для тренажеров энергоблоков // Теплоэнергетика. – 1985. – № 10. – С. 19–22.
2. Фридман А.Л. Основы объектно-ориентированной разработки программных систем. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 192 с.: ил.
3. Borland Delphi 5 Developers Guide for Windows 95, Windows 98, Windows NT. – Inprise Corporation, 1999. – 923 p.